

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RETROCESO GLACIAR DE LOS NEVADOS DE COLOMBIA A TRAVES DE LA UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG

Jenny Lorena Leiva Leiva

Tutor: Tatiana Ferreira
Especialización en Geomática
Facultad de Ingeniería

Universidad Militar Nueva Granada
2018



ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RETROCESO GLACIAR DE LOS NEVADOS DE COLOMBIA A TRAVES DE LA UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG

MULTITEMPORAL ANALYSIS OF THE GLACIER RETREAT OF THE COLOMBIAN SNOWCAPS BETWEEN THE YEARS 1990 TO 2017 - THROUGH THE USE OF SIG TOOLS

Jenny Lorena Leiva Leiva.

Ingeniera Ambiental y Sanitaria, Aspirante a especialista en Geomática.

Estudiante de posgrado de la Universidad Militar Nueva Granada.

Bogotá D.C, Colombia.

U3101383@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Entre 1940 y 1985 desaparecieron ocho glaciares de Colombia y se estima que durante un periodo de 61 años, entre 1950 y el 2011 ha ocurrido una pérdida de un 60% de la cobertura glaciar; en la actualidad el país cuenta con seis nevados, los cuales están propensos a desaparecer según resultados de investigaciones; estas áreas tienen una gran importancia ecológica y son indicadores del cambio climático. Razón por la que en el presente estudio se establece determinar en qué cantidad ha disminuido el área glaciar de los Nevados en Colombia en los últimos años a través de imágenes satelitales mediante la utilización de las herramientas SIG. Se cuantifico la cobertura del glaciar para cada nevado con las imágenes satelitales, usando el método de clasificación supervisada y se estableció el porcentaje de regresión glaciar determinando cual es el Nevado con mayor pérdida de área glaciar.

Palabras clave: Nevados; retroceso glaciar; cambio climático; Imágenes Satelitales.

ABSTRACT

Between 1940 and 1985, eight glaciers disappeared from Colombia and it is estimated that during a period of 61 years, between 1950 and 2011 there has been a loss of 60% of the glacier cover; at present the country has six snowfalls, which are likely to disappear according to research results; these areas are of great ecological importance and are indicators of climate change. Reason why in the present study it is established to determine in which quantity the glacier area of the Nevados in Colombia has decreased through satellite images through the use of GIS tools. The glacier coverage was quantified for each snowfall with the satellite images, using the supervised classification method and the percentage of glacier regression was established determining which is the snowy one with the greatest loss of glacial area.

Keywords: Snowfall; glacier retreat; climate change; satellite imagery.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la superficie de la tierra encontramos la criosfera, parte de la corteza terrestre donde se forma el hielo [1], se caracteriza por tener una respuesta altamente sensible a los cambios de temperatura a los que sean sometidos y esta parte de la superficie la componen el hielo de mar o de lagos, y los ecosistemas que son de interés para el presente estudio, los Glaciares.

Los glaciares, son grandes masas de agua dulce en estado sólido, que se a formado a partir de nieve y hielo recrystalizado, los cuales se han acumulado y compactado por las bajas temperaturas, a travez un gran intervalo de tiempo en determinadas áreas geográficas del planeta [2]; se puede establecer que los glaciares sirven de indicadores al cambio climatico.

Sirven de indicadores de cambio climatico los glaciares debido al origen de volumen de hielo que se forman con las precipitaciones solidas [3]; en una segunda instancia, se presenta por el proceso de ablacion, en el que los glaciares pierden su masa de nieve y hielo, y la convierten en agua y vapor [4]. Por lo que se relaciona el proceso de ablacion con el balance energetico existente en el glaciar el cual es influenciado por el clima.

La influencia del clima en los glaciares tiene mayor importancia cuando estos se localizan en zonas templadas, como lo es en la cordillera de los Andes, en donde, la capa de hielo se encuentra a una temperatura de fusión: un pequeño incremento de temperatura es capaz de ocasionar el proceso de ablacion. La mayoría de los glaciares andinos entran en esta categoría, a excepción de las partes que superan los 5800/6000 m de altura, que generalmente son glaciares “fríos” [5].

Sin embargo en Colombia, no se han llevado a cabo los estudios que relacionan la influencia del clima con la perdida del área glaciar debido a que

se cuenta únicamente con una estación meteorológica ubicada a más de 4000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m), esta corresponde a la estación de “Las Brisas” una estación climatológica ubicada en el Nevado de Santa Isabel en el parque Natural los Nevados, ubicada en el Departamento de Caldas; razón por la que desafortunadamente se desconoce la información climática de los glaciares del país.

Colombia cuenta con una gran riqueza ecosistémica, dentro de la cual destacan los ecosistemas de alta montaña, en donde se encuentran localizados los nevados o glaciares. Estos ecosistemas son grandes reservorios de agua que son altamente sensibles al cambio climático y como resultado de la deglaciación por causas naturales o el efecto invernadero se encuentran propensos a desaparecer.

Entre 1940 y 1985 desaparecieron ocho (8) glaciares o nevados, los cuales son actualmente los volcanes: Puracé, Galeras, Sotará, Chiles, Pan de Azúcar, Quindío, Cisne y Cumbal [3]. A la fecha de elaboración de este documento, Colombia solo cuenta con seis (6) nevados que corresponden a la Sierra Nevada de Santa Marta, el Volcán Nevado del Ruiz, el Volcán Nevado Santa Isabel, el Volcán Nevado del Tolima, el Volcán Nevado del Huila y la Sierra Nevada del Cocuy [4]; estos últimos corresponden a las áreas de enfoque de este proyecto.

Estas áreas han sido objeto de estudio desde los años 80 por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), este organismo ha establecido las bases para el monitoreo de la dinámica glacial y posteriormente el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) asumió dicha responsabilidad [6].

Para el año de 1950 se contaba con una cobertura glacial en Colombia de aproximadamente 113 km² y para el año 2011 solo quedaba alrededor de 45 km², lo que indica que ha ocurrido una pérdida glacial en Colombia del 60% que representa 68 km², según información y estudios del IDEAM. Los Nevados de Colombia que han sufrido mayor pérdida glacial corresponden a la Sierra Nevada de El Cocuy con una pérdida estimada de 59% de su área glacial y el Parque Los Nevados con una pérdida aproximada de 65%, en comparación a la Sierra Nevada de Santa Marta, debido a que esta se encuentra a una mayor altitud (5775 m). En los últimos 15 años, el retroceso glacial se ha visto acelerado generándose la posibilidad de que desaparezcan por completo los glaciares en Colombia [7], el IDEAM en el año 2012 estableció que posiblemente los nevados se extinguirán durante un periodo de tres a cuatro décadas. Las investigaciones y estudios realizados indican que el nevado de Santa Isabel, el Nevado del Ruiz y el nevado del Tolima son los primeros en desaparecer mientras que el Nevado del Huila es el que mayor vida tiene por encontrarse por encima de los 5.750 m.s.n.m. con un área de 109 km².

En el presente estudio se establecerá únicamente el cálculo de las áreas glaciares con el propósito de medir la pérdida del área de los glaciares en Colombia mediante las herramientas que brindan los Sistemas de Información Geográfica – SIG, para analizar la deglaciación de los Nevados Colombianos

ya mencionados, durante el periodo de 1990 al 2017; siendo el volumen de hielo de los glaciares un tema de investigación ajeno al presente estudio debido a que se requiere para ello técnicas geofísicas, como lo son las medidas de retroceso longitudinal del frente glaciar y el cálculo de balances glaciológico, hidrológico y energético que no se llevarán a cabo [3].

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 GENERALIDADES

Se indica a continuación una breve descripción de los nevados de Colombia, áreas del presente estudio:

1.1.1. Sierra Nevada de Santa Marta

En la Sierra Nevada de Santa Marta se ubican los glaciares entre las coordenadas $10^{\circ} 47'$ y $10^{\circ} 52'$ de latitud norte y $73^{\circ} 34'$ y $73^{\circ} 44'$ de longitud oeste, esta sierra es considerada a nivel mundial como el macizo litoral más alto del mundo, por lo que sus glaciares son auténticos.



Fig. 1. Sierra Nevada de Santa Marta
Fuente: Javier Silva Herrera/Redacción
Estilo de Vida. 25 de mayo de 2015.

El glaciar hace parte de los municipios de Riohacha y San Juan del Cesar en el Departamento de La Guajira, Santa Marta y Aracataca en el Magdalena y Valledupar en el Cesar [3].

1.1.2. Sierra Nevada del Cocuy

La Sierra Nevada del Cocuy se localiza sobre la cordillera oriental, la cual corresponde a la única área glaciar sobre esta cordillera, ubicada en las cumbres más altas entre las latitudes $6^{\circ} 21'$ a $6^{\circ} 34'$ y entre los $72^{\circ} 15'$ a $72^{\circ} 20'$ de longitud oeste.



Fig. 2. Sierra Nevada del Cocuy.
Fuente: Panoramio. Febrero 7, 2010.

La Sierra se encuentra localizada entre los municipios de Chita, El Cocuy y Güicán en el Departamento de Boyacá, al municipio de Salina en el Departamento del Casanare y al municipio de Tame en Arauca [3].

Esta Sierra desde muchos años atrás, aproximadamente desde el final del Neoglacial a la actualidad ha sido el área glaciada más grande de Colombia, esto se debe a que la disposición del sustrato en el área ha facilitado la

formación de planos estructurales que facilitan la formación de las áreas glaciales.

1.1.3. Volcán Nevado del Huila

El Volcán Nevado del Huila corresponde a la cúspide más alta de la cordillera central, en donde predominan cuatro puntos mas altos, la parte central del volcán se localiza a los 2° 56' de latitud norte y 76° 02' de longitud oeste.

El glaciar ocupa la cima de la cordillera en donde se encuentran innumerables nacimientos de agua que drenan hacia el río Magdalena, no coincidiendo la divisoria de aguas con la divisoria topográfica.

Este volcán se encuentra entre las jurisdicciones de los municipios de Teruel (Huila), Planadas (Tolima) y Belalcázar (Cauca) [3].

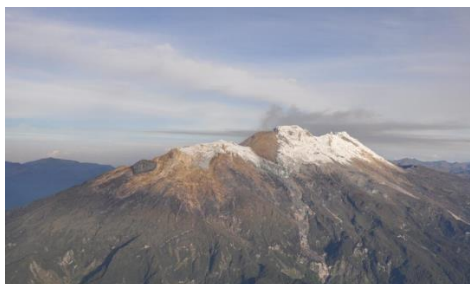


Fig. 3. Volcán Nevado del Huila.

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, año 2011.

1.1.4. Volcán Nevado del Ruiz

El Volcan Nevado del Ruiz antiguamente llamado por los indígenas como el Cumanday se encuentra en la cordillera central y el punto central del volcán se localiza en las coordenadas geográficas 4° 54' de latitud norte y 75° 19' de longitud oeste, este volcan alcanza 5310 m. de altitud en el borde noroccidental del cráter Arenas. Es bastante interesante este volcan debido a que siendo un glaciar corresponde al volcan mas activo de la cordillera.

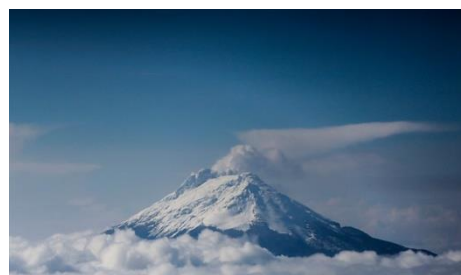


Fig. 4. Volcán Nevado del Ruiz.

Fuente: Colprensa. 03/03/2016.

Se encuentra dentro del Parque Nacional Natural Los Nevados y su jurisdicción se encuentra entre los municipios de Villamaría (Caldas), Casabianca, Villahermosa y Murillo (Tolima), además de ser parte del Parque Nacional Natural Los Nevados [3].

1.1.5. Volcán Nevado Santa Isabel

El Volcan Nevado Santa Isabel se localiza entre las coordenadas geográficas 4° 48' latitud norte y 75° 23' de longitud oeste, este nevado alcanza 2020 m. de altitud y sus máximas alturas coinciden con la divisoria de aguas de la cordillera Central.

Político-administrativamente el nevado se encuentra bajo la jurisdicción de los municipios Santa Isabel y Murillo en el

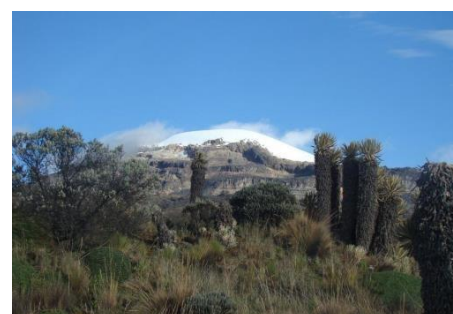


Fig. 5. Volcán Nevado Santa Isabel.

Fuente: Jorge Luis Ceballos, año 2011.

departamento del Tolima, Villamaría en Caldas y Santa Rosa de Cabal y Pereira en Risaralda [3].

1.1.6. Volcán Nevado del Tolima

El Volcán Nevado del Tolima se encuentra localizado en el Parque Natural Los Nevados y hace parte del complejo volcanico del Ruiz-Tolima. El área glaciaria se encuentra sobre la cima del volcan que esta clasificado como activo. Alcanza 5250 m. de altitud en su cuspide la cual no se encuentra sobre el eje de la Cordillera Central como lo es el caso de los Nevados del Ruiz y el Santa Isabel, la formacion volcanica se halla sobre el flanco oriental y sus aguas drenan al rio Magdalena.

Se encuentra ubicado en los municipios de Ibagué y Anzoátegui en el departamento del Tolima [3].



Fig. 6. Volcán Nevado del Tolima.

Fuente: Archivo Parques Nacionales Naturales de Colombia.

1.2. METODOLOGÍA

Para el presente estudio se establece utilizar las herramientas de PCI Geomatics y ArcGis para determinar el área anual de los nevados en Colombia y por último se presenta las estadísticas porcentuales de la pérdida de las áreas glaciares para cada nevado, estableciéndose cual de estos ha tenido mayor pérdida de área glaciaria. A continuación en la figura 7 se relaciona el diagrama de flujo de la metodología a utilizar.

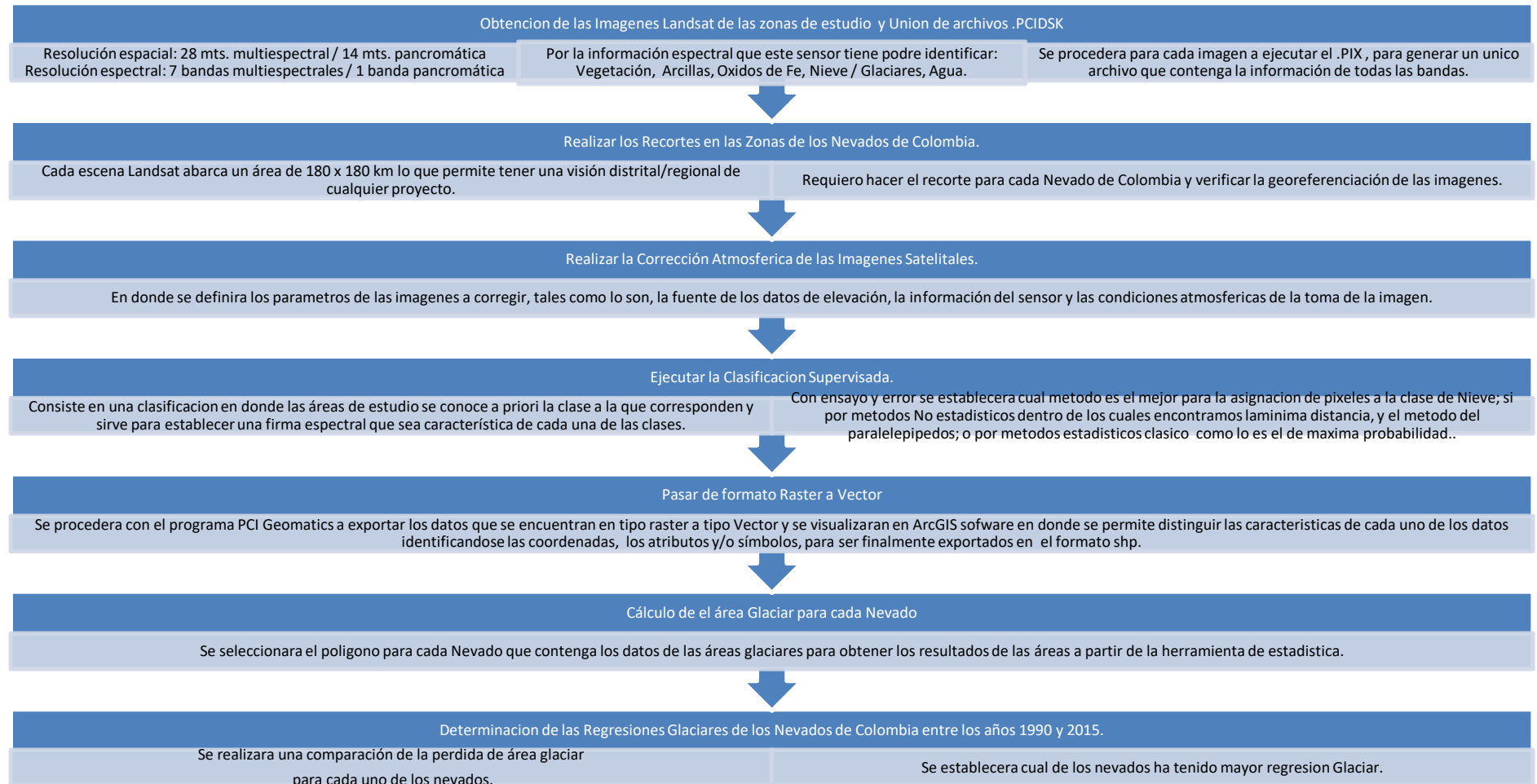


Fig. 7. Diagrama de Flujo de la Metodología.
Fuente: Elaboración propia.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. OBTENCIÓN DE IMÁGENES DE SATELITE LANDSAT Y UNIÓN DE ARCHIVOS .PCIDSK

Las imágenes satelitales fueron descargadas de la plataforma del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), en esta página web se encuentra una gran cantidad de información espacial, encontrándose imágenes aéreas de todas las misiones Landsat. El parámetro considerado para la selección de las imágenes fue buscar las imágenes con la menor cobertura de nubes para cada año de estudio en cada uno de los nevados, algunas escenas no cubren totalmente el área de estudio, razón por la que se ve la necesidad de realizar algunos mosaicos y recortes.

Para el periodo de estudio del presente proyecto, que esta comprendido entre los años de 1990 al 2017 se tomaron tres (3) muestras de imágenes satelitales para cada uno de los nevados en donde se busca evidenciar el proceso de perdida de área glaciár.

A continuación en las tablas 1, 2, 3 y 4 se relaciona las características de las imágenes a procesar en el presente estudio.

Tabla 1. Imágenes Landsat Sierra Nevada de Santa Marta.

Sierra Nevada de Santa Marta					
Imagen	Satelite	Sensor	Numero de Bandas	Fecha de Toma	% de Nubosidad
Mosaico:MTN-18-10_LOC	Landsat 5	TM	6	1986/01/18	---
LT05_L1TP_008053_20070911_20161112_01_T1	Landsat 5	TM	6	2007/09/11	<10%
LC08_L1TP_008053_20150205_20170413_01_T1	Landsat 8	OLI/TIRS	11	2015/02/05	<10%

Fuente:Elaboración Propia.

Tabla 2. Imágenes Landsat Sierra Nevada del Cocuy.

Sierra Nevada del Cocuy					
Imagen	Satelite	Sensor	Numero de Bandas	Fecha de Toma	Porcentaje de Nubosidad
ELP007R056_7T20001213 ELP007R055_7T20001213	Landsat 7	ETM+	7	2000/12/13	--
LC08_L1TP_007055_20140110_20170426_01_T1 LC08_L1TP_007056_20140110_20170426_01_T1	Landsat 8	OLI/TIRS	11	2014/01/10	<20%
LC08_L1TP_007055_20160116_20170405_01_T1 LC08_L1TP_007056_20160116_20170405_01_T1	Landsat 8	OLI/TIRS	11	2016/01/16	<10%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3. Imágenes Landsat Volcán Nevado del Huila.

Volcan Nevado del Huila					
Imagen	Satelite	Sensor	Numero de Bandas	Fecha de Toma	Porcentaje de Nubosidad
LT05_L1TP_009058_19990710_20161217_01_T1	Landsat 5	TM	7	1999/07/10	<10%
LE07_L1TP_009058_20080912_20161226_01_T1	Landsat 7	ETM+	7	2008/09/12	<10%
LC08_L1TP_009058_20160130_20170330_01_T1	Landsat 8	OLI/TIRS	11	2016/01/30	<40%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4. Imágenes Landsat Volcán Nevado del Ruiz, Nevado Santa Isabel y Nevado del Tolima.

Volcan Nevado del Ruiz, Nevado Santa Isabel y Nevado del Tolima					
Imagen	Satelite	Sensor	Numero de Bandas	Fecha de Toma	Porcentaje de Nubosidad
LTC5_L1TP_009057_20000610_01_T1	Landsat 5	TM	7	2000/07/10	<20%
LE07_L1TP_009057_20040206_20170123_01_T1	Landsat 7	ETM+	7	2004/02/06	<20%
LT05_L1TP_009057_20100129_20161017_01_T1	Landsat 5	TM	7	2010/01/29	<20%

Fuente: Elaboración Propia.

Con respecto a la unión de las bandas que componen las imágenes para realizar el .PIX de cada una de ellas, se trabajo con el archivo de texto de metadatos MTL.text, con el cual se logra visualizar una única imagen multiespectral que contiene todas las bandas que componen cada una de las imágenes seleccionadas.

2.3. CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA

Una vez que las imágenes están en formato PCIDSK (.pix), mediante el programa de PCI Geomatic se procedió a realizar la corrección atmosférica, en la cual se desarrolla un flujo de trabajo compuesto por tres diferentes tipos de correcciones.

Lo primero consiste en establecer los parámetros de la corrección atmosférica, en donde se define por cada imagen según su fuente de captura, datos de elevación, información del tipo de sensor, la fecha de adquisición, el cenit solar y el azimut solar.

Parámetros con los cuales se inicia la corrección de reflectancia en cada una de las imágenes, esta corrección consiste en convertir los valores de píxel a reflectancia física con el objetivo de normalizar las diferentes condiciones de iluminación de la imagen.

La siguiente corrección consiste en la eliminación de la neblina en el entorno de la imagen, esto es útil al preparar la imagen para una clasificación temática; y finalmente se ejecuta el cálculo de los valores de reflectancia a nivel del suelo para eliminar los efectos atmosféricos en las imágenes satelitales.

A continuación en la figura 8 se evidencia una muestra de la corrección atmosférica para la Sierra Nevada de Santa Marta, la cual corresponde a la Imagen Satelital Landsat 8 tomada en el 2015 junto con el recorte ejecutado mediante el software PCI Geomatic:

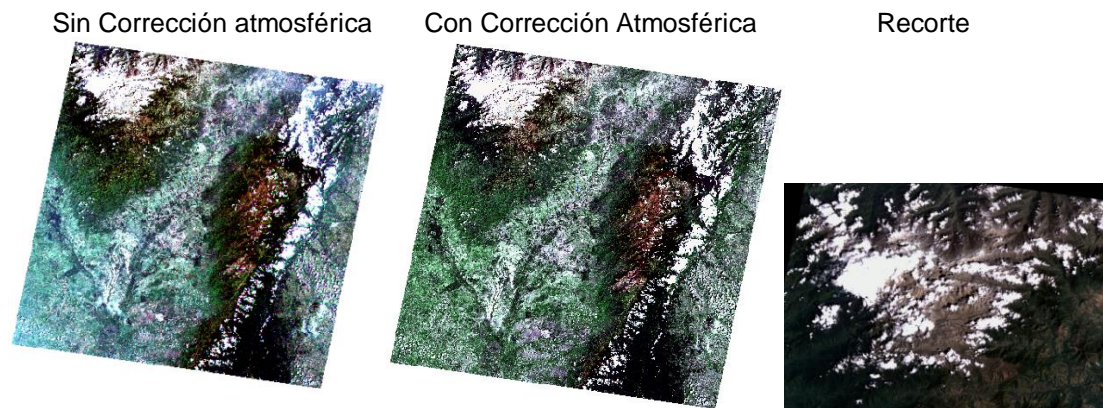


Fig. 8. Sierra Nevada de Santa Marta.
Fuente: Elaboración Propia.

Para el estudio de la Sierra Nevada del Cocuy se tuvo la necesidad de generar mosaicos por cada año, en la figura 9 se muestra el mosaico creado junto con la corrección atmosférica para la Imagen Landsat 7 tomada en el 2000 y el recorte ejecutado:

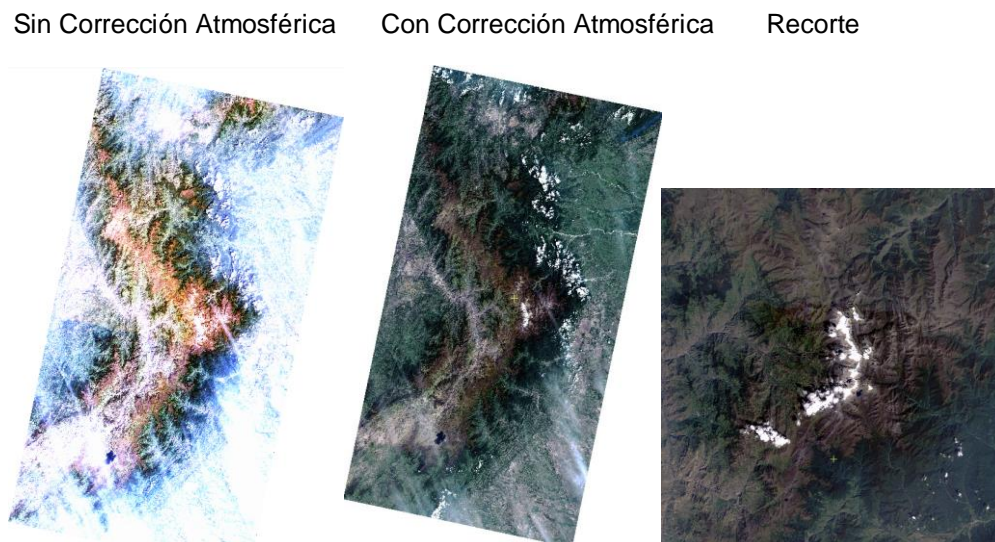


Fig. 9. Nevado del Cocuy.
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 10 se observa la corrección atmosférica para el Nevado del Huila en la imagen Landsat 5 tomada en 1999 y el recorte realizado:

Sin Corrección Atmosférica

Con Corrección Atmosférica

Recorte

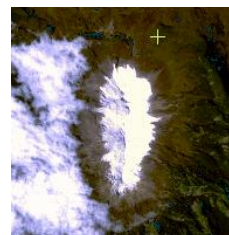


Fig. 10. Nevado del Huila.
Fuente: Elaboración Propia.

El Parque de los Nevados contiene el Volcán Nevado del Ruiz, el Nevado de Santa Isabel y el Nevado del Tolima, para los cuales, el estudio en cada uno de ellos se realizó mediante el procesamiento de las mismas imágenes Landsat debido a su proximidad geográfica, es decir se localizan los tres nevados en una misma área de captura de la imagen satelital. En la figura 11 se encuentra la corrección atmosférica de la Imagen Landsat 5 tomada en el 2000 sobre el área de estudio del parque de los Nevados.

Sin Corrección Atmosférica

Con Corrección Atmosférica

Recorte

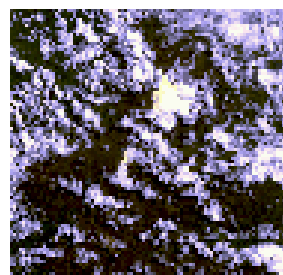
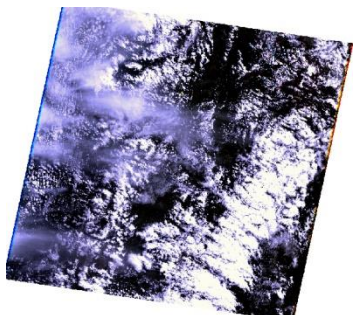


Fig. 11. Parque Los Nevados.
Fuente: Elaboración Propia.

2.4. CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

Se realizó la clasificación supervisada para las imágenes satelitales del presente estudio mediante la herramienta PCI Geomatic, haciendo uso del método de máxima probabilidad (maximum likelihood), esta metodología de clasificación genera un algoritmo de probabilidad para cada clase definida, mediante la muestra de píxeles incluidos en cada clase, finalmente analiza los píxeles de toda la imagen, definiendo para cada uno de ellos aquella clase cuyo algoritmo tenga el valor más alto.

Para la clasificación supervisada se hizo uso de combinaciones que penetraran las nubes para reducir la confusión de la nieve con las nubes altas; aunque la reflectividad en la nieve es diferente a la de las nubes (alta en todas las longitudes de onda), es posible confundir estas dos coberturas debido a que

están formadas por partículas de hielo. En la figura 12 se muestra la combinación en falso color 432, en donde se visualiza la nieve y las nubes mediante un color blanco; sin embargo mediante la combinación 543 que hace alusión a la combinación de las bandas del infrarrojo cercano se puede distinguir la nieve de las nubes con una tonalidad azul aguamarina, esta combinación es usada para definir los límites de agua y tierra, porque evidencia las diferencias de humedad en las coberturas de la tierra en donde usualmente entre esta sea más humedad, aparecerán en colores más oscuros, a causa de las propiedades de absorción del infrarrojo por el agua. Con esta combinación de bandas, el tipo de vegetación se muestra en variaciones de color marrones, verdes y naranjas.

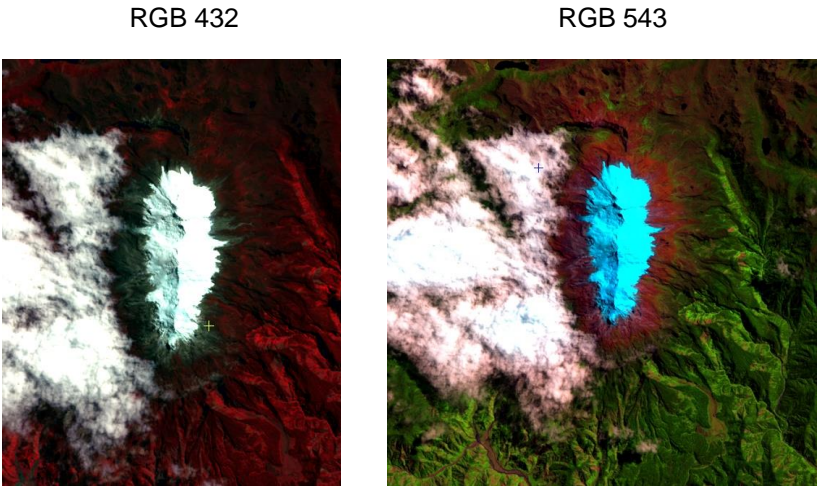


Fig. 12. *Combinación de bandas en Landsat 5 o 7.*
Fuente: *Elaboración Propia.*

Para las imágenes Landsat 8 se usó la composición de las bandas RGB 754 con la cual se trabajó la clasificación supervisada, esta combinación hace alusión al infrarrojo de onda corta.

A continuación en las siguientes figuras se ilustra una muestra de la clasificación supervisada realizada para cada uno de los Nevados de Colombia:

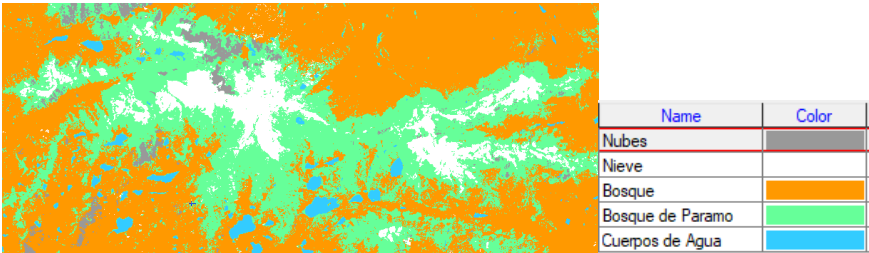


Fig. 13. *Sierra Nevada de Santa Marta 2007.*
Fuente: *Elaboración Propia.*

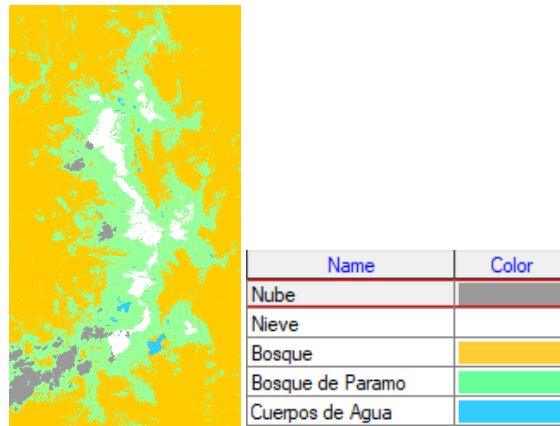


Fig. 14. Nevado del Cocuy 2000.
Fuente: Elaboración Propia.

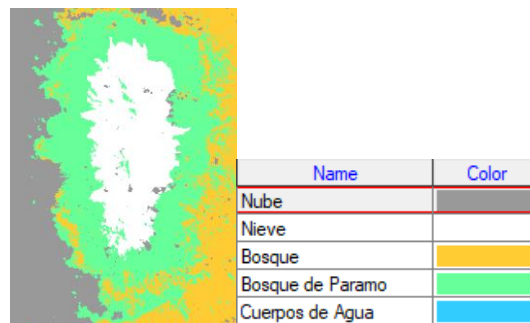


Fig. 15. Nevado del Huila 1999.
Fuente: Elaboración Propia.

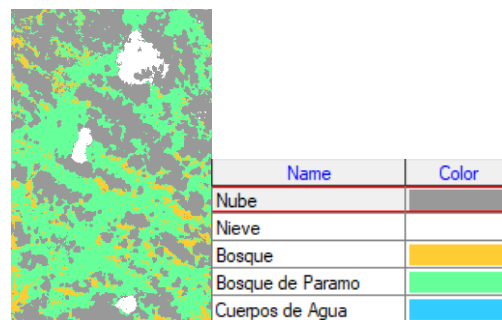


Fig. 16. Volcán Nevado del Ruiz, Nevado Santa Isabel y Nevado del Tolima, 2000.
Fuente: Elaboración Propia.

2.5. CONVERSIÓN DE DATOS RASTER A SHAPE

Una vez obtenidas las imágenes del presente estudio con corrección atmosférica y con su respectiva clasificación supervisada, se procedió a establecer el polígono en formato shape de cada uno de las capas de nieve en las imágenes.

Para lo cual mediante el software PCI Geomatic se crearon los polígonos en formato vector, los cuales son exportados a shp y visualizados en Arcgis con sus respectivas coordenadas y atributos.

La Figura 17 presenta el polígono establecido para el Nevado del Huila tomada en 1999, este proceso se ejecutó para las doce imágenes Landsat del presente estudio.

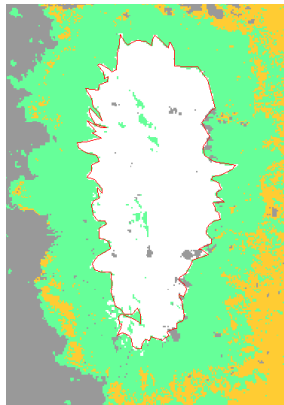


Fig. 17. Polígono exportado a formato shp.
Fuente: Elaboración Propia.

2.6. CÁLCULO DEL ÁREA GLACIAR EN LOS NEVADOS DE COLOMBIA

Para el cálculo del área glaciario de los nevados se utilizó el software de Arcgis en el cual se estimaron las áreas de los polígonos en hectáreas.

A continuación en las siguientes tablas se relacionan las áreas establecidas para los seis nevados de Colombia con la relación de pérdida glaciario por periodos de año según el estudio y a lo que esto correspondería anualmente.

Tabla 5. Áreas de la Sierra Nevada de Santa Marta.

Año	Área (Ha)	Perdida entre periodos (Ha)	Pérdida anual (Ha)
1986	1746.5		
		732.3	35
2007	1014.2		
		123.7	15
2015	890.5		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Áreas del Nevado del Cocuy.

Año	Área (Ha)	Perdida entre periodos (Ha)	Pérdida anual (Ha)
2000	3077.8		
		1055.1	75.4
2014	2022.7		
		822.8	411.4
2016	1199.9		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 7. Áreas del Volcán Nevado del Ruíz.

Año	Área (Ha)	Perdida entre periodos (Ha)	Pérdida anual (Ha)
2000	1959.9		
		1115.3	278.8
2004	844.6		
		486.3	81.1
2010	358.3		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8. Áreas del Nevado Santa Isabel.

Año	Área (Ha)	Perdida entre periodos (Ha)	Pérdida anual (Ha)
2000	505.5		
		228.7	57.2
2004	276.8		
		98.8	16.5
2010	178.0		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9. Áreas Nevado del Tolima.

Año	Área (Ha)	Perdida entre periodos (Ha)	Pérdida anual (Ha)
2000	290.6		
		229.1	57.3
2004	61.5		
		6.5	1.1
2010	55.0		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10. Áreas Nevado del Huila.

Año	Área (Ha)	Perdida entre periodos (Ha)	Pérdida anual (Ha)
1999	1267.3		
		214.3	23.8
2008	1053.0		
		484.7	60.6
2016	568.3		

Fuente: Elaboración Propia.

2.7. RETROCESO GLACIAR DE LOS NEVADOS DE COLOMBIA

Al haber estimado las áreas de los nevados en cada uno de los años analizados se obtuvieron que el retroceso glaciar es alarmante para los nevados de Colombia.

Para La Sierra Nevada de Santa Marta como se ve en la figura 18 hubo una reducción del 49% del área glaciar en un periodo de 29 años entre 1986 al 2015.

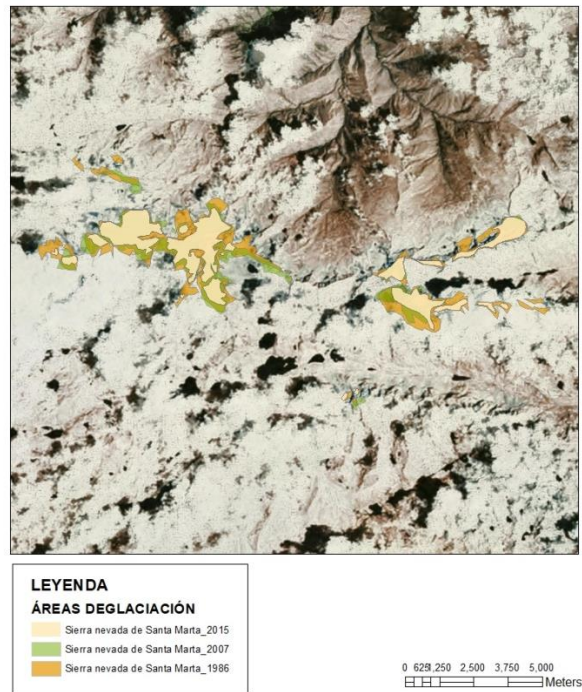


Fig. 18. Desglaciación de la Sierra Nevada de Santa Marta.
Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto al Nevado del Cocuy se estimo la reducción del 61% del área glaciár entre un periodo de 16 años entre el 2000 al 2016, como se ilustra en la figura 19.

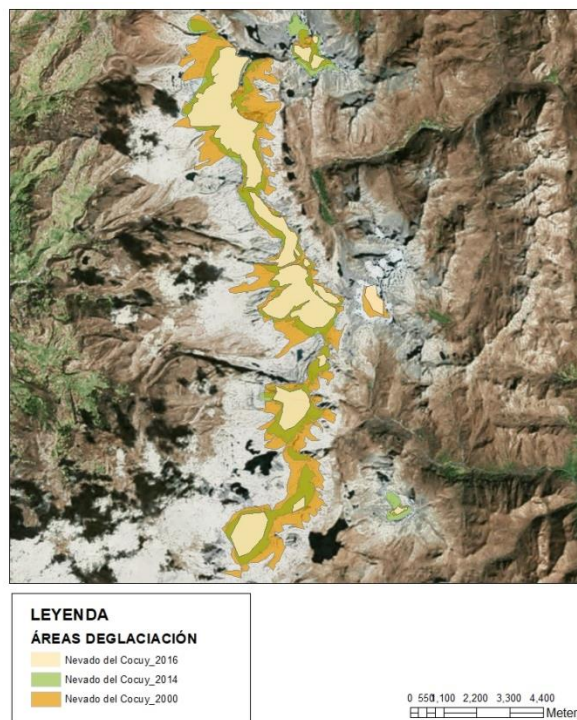


Fig. 19. Desglaciación del Nevado del Cocuy.
Fuente: Elaboración Propia.

En los Parque de los Nevados en donde se localizan tres nevados, se aproxima que para el Volcán Nevado del Ruiz hubo una perdida del 82% del área glaciár,

en el Nevado Santa Isabel la perdida del área se estima en un 65%, y para el Nevado del Tolima se calcula una perdida glaciär de 81%, para un periodo de 10 años, entre el 2000 y 2010. A continuación en la figura 20 se muestra respectivamente la deglaciación de los nevados.

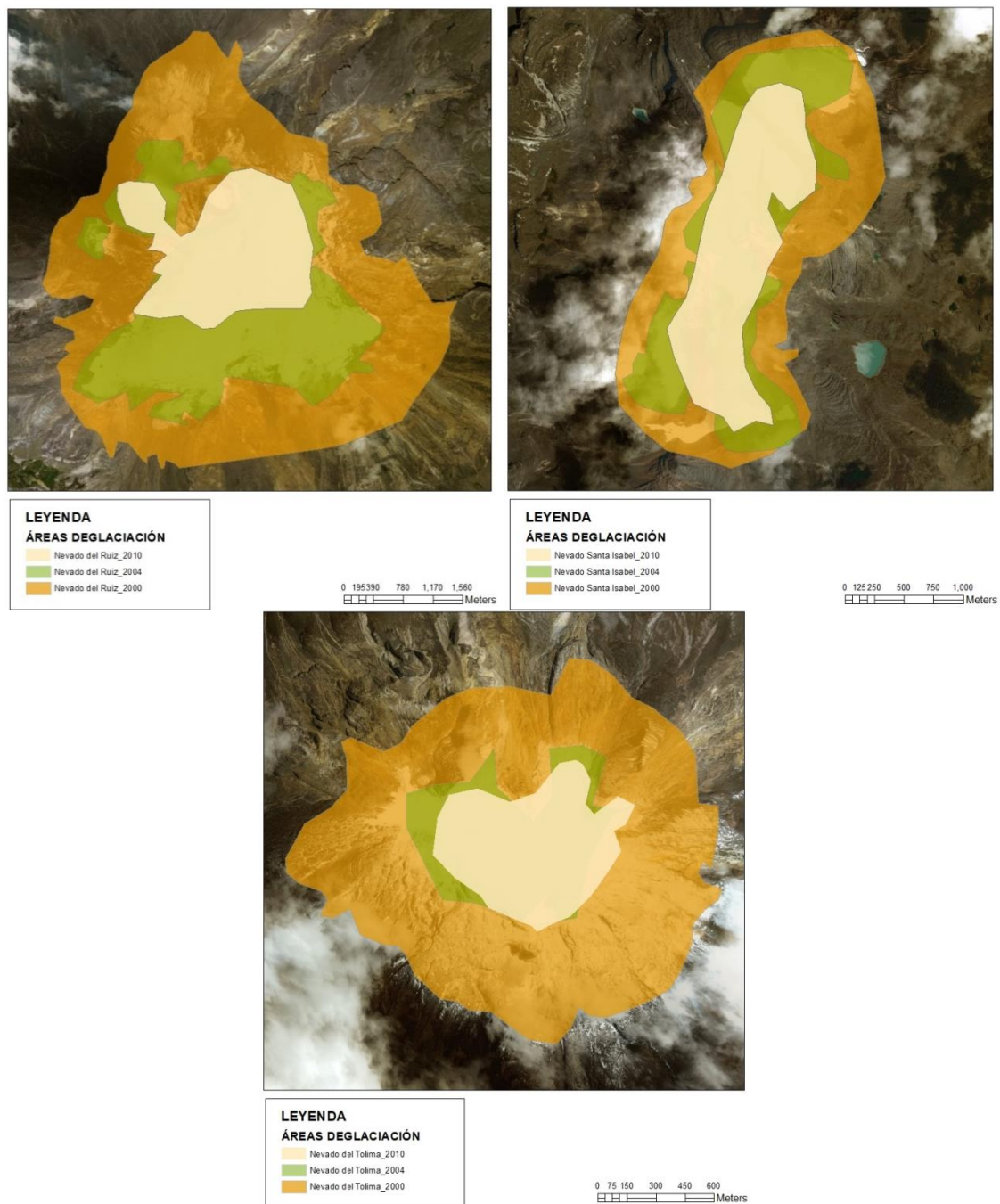


Fig. 20. Desglaciación Parque Los Nevados.
Fuente: Elaboración Propia.

El Nevado del Huila se ilustra en la figura 21, para el cual se estima una perdida glaciär del 55% en un periodo de 17 años comprendidos entre 1999 al 2016.



Fig. 21. Desglaciación Nevado del Huila.
Fuente: Elaboración Propia.

3. CONCLUSIONES

Mediante el uso de las imágenes Landsat y las herramientas que nos brindan los Sistemas de Información Geográfica se logra establecer en general un acelerado proceso de desglaciación en los Nevados de Colombia, dejando en evidencia la posibilidad de la desaparición de las áreas glaciares en nuestro territorio Colombiano, suceso que ya fue registrado entre 1940 y 1985 con la pérdida de ocho nevados de Colombia.

Con los resultados obtenidos se deduce que el Volcán Nevado del Ruiz ha sufrido un proceso de desglaciación mucho mayor con respecto a los otros Nevados de Colombia con un 82% de pérdida en un periodo de 10 años, sin embargo el Nevado del Tolima con una pérdida del 81% en el mismo periodo de tiempo, es el más preocupante por ser el próximo a desaparecer, al registrar la menor cantidad de área, seguido por el Nevado Santa Isabel que ha tenido una pérdida del 61% y se registra como el segundo nevado más pequeño. Con lo anterior se deduce que en el Parque los Nevados se localizan las áreas Glaciares de Colombia próximas a desaparecer.

Los Nevados que han registrado menor pérdida glaciar, corresponde a la Sierra Nevada de Santa Marta con un 49% en un periodo de 29 años y el Nevado del Huila con una pérdida de 55% en un periodo de 17 años, por lo que se establece que estos Nevados son los que tendrían un tiempo de vida más largo con respecto a los demás.

De igual manera con los resultados se concluye que el Nevado del Cocuy tiene actualmente la mayor área glaciaria en Colombia, sin embargo ha sufrido una pérdida glaciaria aproximada de 61% en 16 años, un retroceso acelerado y preocupante.

Mediante las herramientas aplicadas y la metodología desarrollada se concluye finalmente en el presente estudio, que Colombia en promedio ha registrado una pérdida glaciaria de 65% en sus seis Nevados, durante un periodo de tiempo de 30 años evaluados entre 1986 y 2016.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al grupo en general de docentes de la Especialización de Geomática, los cuales con su excelencia y profesionalismo aportaron en mi proceso de aprendizaje y en especial quiero agradecerle al Ingeniero Oscar Forigua, por sus enseñanzas en las sesiones de clases en Percepción Remota y Fotogrametría, principios técnicos que desarrolle en la realización del presente proyecto. Finalmente a todas aquellas personas que me brindaron apoyo y la mejor energía para culminar un ciclo más de estudio y me hicieron crecer profesionalmente.

REFERENCIAS

- [1] Dario Trombot, Criósfera. [En línea]. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Criosfera.htm>, consultado el 15/10/2017.
- [2] Glaciares de Colombia. [En línea]. Disponible en: <http://www.porquecomoydonde.net/2014/11/que-son-los-glaciares.html>.
- [3] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Los Glaciares Colombianos, Expresión del Cambio Climático Global. Bogotá, Colombia: Ministerio del Medio Ambiente, año 2000, pp. 3-4.
- [4] Francou, Bernard. El rápido retroceso de los glaciares en los Andes tropicales: Un desafío para el estudio de la dinámica de los ecosistemas de alta montaña. Ecología en Bolivia [online]. Vol.48, n.2 2013, pp. 69-71, sept. 2013. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282013000200001.
- [5] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo. Bogotá, Colombia: Ministerio del Medio Ambiente, año 2010, pp. 1-2.
- [6] Ceballos, J & Tobon E, "Glaciares Colombianos: Evolución reciente y estado actual", Boletín de Geología, Vol. 29, No 2, Julio - Diciembre de 2007.
- [7] Poveda, G., & Pineda, K., "Reassessment of Colombia's tropical glaciers retreat rates: are they bound to disappear during the 2010–2020 decade?", Graduate Programme in Water Resources, School of Geosciences and Environment, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, Diciembre 2009, pp. 110-114. <https://www.adv-geosci.net/22/107/2009/adgeo-22-107-2009.pdf>.